

전라남도 장성과 화순에 분포하는 석회암풍화토의 물성 및 전단 특성

김해경*

전남대학교 지구환경과학부

The Physical and Shear Strength Properties of the Weathered Limestone Soils in Changsung and Hwasun Area of Chonnam Province, Korea

Hai-Gyoung Kim*

*Chonnam National University, Faculty of Earth Systems & Environmental Sciences.

요 약

본 연구에서는 전라남도 장성과 화순에 분포하는 석회암풍화토의 물성 및 전단 특성을 연구하였다. 석회암풍화토의 교란시료에 대한 물성 및 전단 특성을 파악하기 위하여 실내 시험이 수행되었다. 연구지역의 석회암풍화토에 대한 물성 및 전단 특성은 다음과 같다. 비중(G_s)은 2.78~2.80, 액성한계(LL)는 37~38(%), 소성지수(PI)는 13.7~15.4이며 흙의 분류(USCS)는 CL에 해당된다. 불포화 시료의 직접전단시험 ($vd, 1.5t/m^3$)에 의한 강도정수는 점착력(c)이 3.07~4.4 (t/m^2) 그리고 내부마찰각(θ)은 34.8~42.4°의 범위를 보인다. 화강암풍화토 (양, 1997; 문, 1998; 박, 1998)와 비교해 보면, 연구지역의 석회암풍화토의 물리적 특성은 일반적으로 차이를 보이며, 전단 강도정수 중, 내부마찰각은 대체적으로 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

주요어: 석회암풍화토, 물성 및 전단 특성, 비중, 액성한계, 강도정수

ABSTRACT: This study is focused to the physical and shear strength properties of the weathered limestone soils distributed in Changsung and Hwasun area, Chonnam province. Disturbed soil was used as soil samples. To grasp the physical and shear strength properties of weathered limestone soil, specific gravity test, atterberg limit, grain size distribution and direct shear test were conducted in the laboratory. The physical and shear strength properties of the weathered limestone soil in the study areas are as follows. The range of specific gravity (G_s) is 2.78 to 2.80, liquid limits (LL) 37 to 38(%), plasticity index (PI) 13.7 to 15.4, and soil classification CL. The range of strength parameters by direct shear test ($vd, 1.5t/m^3$) is 3.07 to 4.4 (t/m^2) of cohesion and 34.8 to 42.4° of internal friction angle in unsaturated soils. As a result of comparing with the weathered granite soils (Yang, 1997; Mun, 1998; Park, 1998), it is considered that physical properties of the weathered limestone soils in this study are different from the weathered granite soils. On the other hand, internal friction angle of shear parameters is found to be similar.

* Corresponding author: khgoh@chollian.net

Key words: weathered limestone soils, physical and shear strength properties, specific gravity, liquid limits, strength parameters

서 론

석회암은 고회암과 더불어 대표적인 탄산염암이며, 일반적으로 방해석 성분이 총 암석 중량의 50% 이상인 퇴적암을 말한다 (김봉균 등, 1982).

한반도에는 석회암이 전체면적의 약 7%를 차지하며, 이 중 남한에는 약 5%정도를 차지한다. 이들 석회암은 선캠브리아기의 편암 내에 협재하거나, 대부분은 고생대 하부의 조선누층군에 집중되어 산출된다 (이병주 등, 2001). 우리나라에는 제주도와 경상남도를 제외한 전국에 분포하나 특히, 강원도 북부와 충청북도 북부에 집중적으로 분포하고 있다 (조인기, 2001). 석회암이 분포하는 지형의 특징은 지표가 가라앉아 형성된 돌리네와 지하 동굴이 자주 발달하며, 주 구성 광물인 방해석의 용해성 때문에 각종 용식 현상이 발생한다.

국내에서 일반적으로 토목공사가 주로 화강암과 편마암지역 등에서 이루어 졌으나, 최근 도로의 신설 및 확장공사로 인해 석회암 지대를 통과하는 토목공사가 늘어나는 추세 (박형동, 2001)로 인하여 석회암지대에서의 독특한 카르스트 지형, 습곡, 단층, 절리 그리고 동굴의 분포와 같은 특성으로 인하여 지질학적, 지질공학적 그리고 암석역학적 연구가 활발히 진행 중이다 (이병주 등, 2001; 박형동, 2001; 신희순, 2001). 그러나, 석회암지역에서의 토목공사로 인해 성토 및 절토부 등이 형성되기 때문에 석회암의 제반 지질공학적, 암석역학적 특성뿐만 아니라 석회암의 풍화토에 관한 물리적, 역학적 특성에 관한 연구의 필요성이 대두된다.

석회암의 풍화토, 즉 테라로사 (terra rosa)는 카르스트 지형의 지역에서 전형적인 잔류토양으로 석회암의 기반암 상부에 분포하는 적갈색의 풍화잔류토를 말한다 (Bates & Jackson, 1987). 테라로사는 석회암이 용해됨에 따라 석회암에 포함된 점토 등이 그 자리에서 풍화잔류토로 발달하는 것이다 (배규진, 2001). 따라서 이러한 석회암 풍화토는 도로 설제 또는 시공 시에 절취부의 석

회암 암반사면과 함께 토사사면을 구성하거나, 성토재 등으로 사용될 수 있다. 일반적으로 석회암 풍화토의 두께는 석회암의 용해율에 따라 증가하며, 지표수에 의한 침식에 의해서는 감소된다. 석회암에서 유래한 풍화토는 다른 암종의 풍화토에 비해 모암의 잔류구조를 보유하지 않는다. 또한 석회암풍화토는 일반적으로 모래를 함유한 실트질 점토이며, 모암에 처어트를 함유할 경우 풍화토는 모래 내지 자갈의 압편을 함유할 수 있다. 자갈을 함유한 모래질 점토는 도로포장이나 흙담의 지수부위에 대한 양호한 축조재료가 될 수 있다 (Sowers, 1996)

그 동안 국내의 풍화토에 관한 연구는 주로 화강암풍화토(이용주, 1996; 박병기, 1998; 문용, 1998; 강진태, 1999)와 혈암의 풍화토 (이상복, 1994; 김기영, 1995)에 관한 공학적 연구가 대부분이며 석회암의 풍화토에 관한 연구는 미약한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 석회암 지대의 잔류토를 구성하는 석회암풍화토에 관한 물리적, 전단 특성을 알아보고, 석회암풍화토의 공학적 특성에 관한 기초 자료를 제공하고자 한다. 이 연구를 위하여 석회암풍화토의 대표성을 나타낼 수 있는 지역, 즉 시멘트 원료로서 석회암을 채굴하고 있는 전라남도 장성과 화순의 두 지역에서 교란 시료를 채취하였다. 채취된 시료를 이용하여 비중, 입도, 액성한계, 흙의 분류와 같은 물리적 특성 및 전단 특성에 관하여 살펴보고 화강암풍화토와의 공학적 특성을 비교하였다.

연구 지역의 지질

장성지역

전라남도 장성군 장성읍 영천리 일대는 송정도 폭에 해당되며, 지질은 하부로부터 선캠브리아기의 화강암질편마암, 시대미상의 편암류 그리고 중생대 유라기의 반상화강암이 분포하며, 상기 암석을 제4기 충적층이 피복하고 있다 (Fig. 1). 상기

전라남도 장성과 화순에 분포하는 석회암풍화토의 물성 및 전단 특성

암류 중, 편암류는 이 지역 동측에서 북동-남서 방향의 대상 분포를 하며 천매암, 석회암, 회녹색 편암으로 구성되어 있다. 이 중 석회암은 분포 상의 횡적 변화가 심한 편이다. 석회암은 백색, 회백색, 암회색 등을 띠며, 결정질 또는 부분적으로 치밀질이다. 구성광물은 방해석이 우세하고 소량의 석영, 사장석, 투각섬석, 견운모 등으로 구성되어 있다 (홍승호 등, 1986). 본 석회암 층에서는 (주) 고려시멘트에서 시멘트 원료로서 석회암을 노천 채굴하고 있다. 이 지역의 석회암 풍화토는 연한

적색 내지 갈색을 띠며, 육안으로는 실트 내지는 점토질 모래이다. 시료채취는 장성을 영천리의 장성 우회도로현장의 절취부에서 현장여건상 교란 시료가 채취되었다 (JS-A, JS-B). 일반적으로 석회암 풍화토는 모암의 조직이나 층리의 흔적이 없으며, 모암과 풍화토와는 명확한 경계를 보이며 불규칙하다 (Sowers, 1996). Fig. 2는 장성지역에서의 시료 채취지역으로 사진 우측에는 회백색의 신선한 석회암과 적갈색의 석회암풍화토와의 뚜렷한 경계를 보여주고 있다.

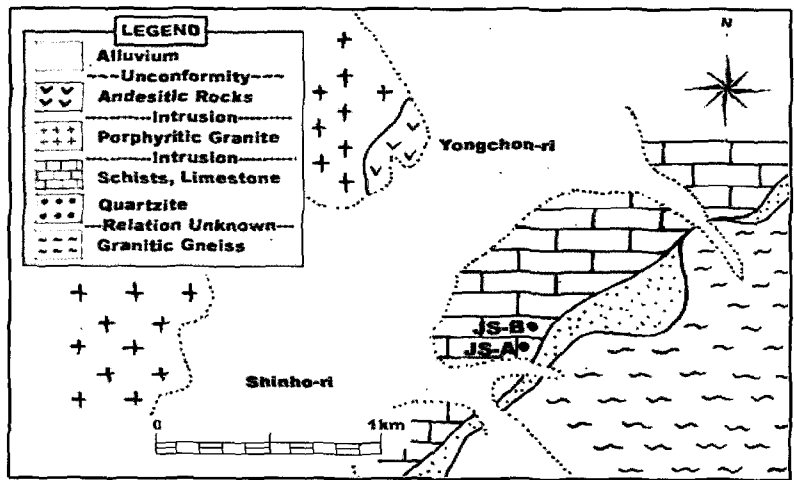


Fig. 1. Geologic map of Jangsung area and sampling site

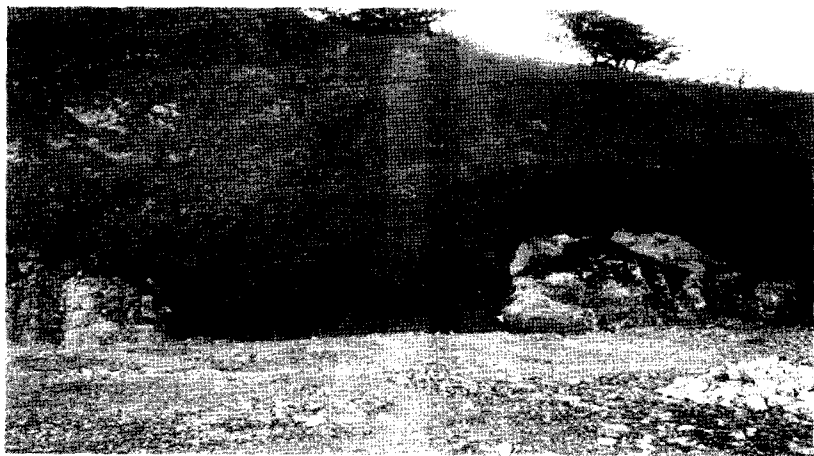


Fig. 2. Boundary of limestone and weathered limestone soil (Jangsung area)

화순지역

전라남도 화순군 북면 수리 일대는 동북도폭에 해당되며, 지질은 하부로부터 고생대의 설옥리층, 오산리층 그리고 중생대 백악기의 장동응회암, 적벽응회암 및 무등산용암이 분포하고 상기 암석들을 제4기의 충적층이 피복하고 있다 (Fig. 3). 고생대의 오산리층은 연구지역 화순군 북면 수리에 분포하며, 남측으로 연장되어 있다. 오산리층은 주로 편암, 규암, 슬레이트, 석회암으로 구성이 된다.

오산리층에 속하는 석회암은 회색을 띠고, 주로 방해석으로 구성된 결정질 석회암이다 (김봉균 등, 1966). 화순군 북면 수리에 분포하는 석회암은 (주)고려시멘트에서 시멘트의 원료로 노천 채굴하였으나, 현재는 중단된 상태이다. 이 지역의 석회암은 회색을 띠고 있으며, Fig. 4의 석회암 상부에 분포하는 갈색의 석회암풍화토에서 한 개의 교란 시료 (HS)를 채취하였다.

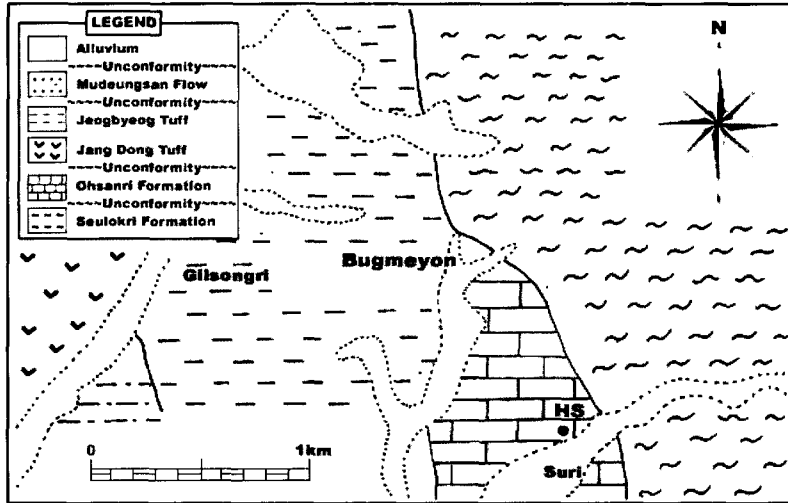


Fig. 3. Geologic map of Hwasun area and sampling site



Fig. 4. The weathered limestone soil over limestone (Hwasun area)

시험 방법

흙 입자의 비중은 흙 지반의 구조골격을 이루며, 크기와 구성광물이 다양한 흙입자의 평균비중을 의미하고, 흙의 기본적인 성질인 간극비와 포화도를 구하는데 필요할 뿐만 아니라, 흙의 구성광물이나 견고한 정도를 판정하는데 이용된다. 비중시험은 KS F2308의 규격에 준하여 실시하였다. 액성한계는 흙의 유동상태를 나타내는 최소의 함수비를 말하며 세립토의 판별분류 및 공학적 성질을 판단하는 데에 이용된다. 액성한계 시험은 KS F2303의 규격에 준하여 실시하였다. 소성한계는 흙의 소성상태와 반고체 상태의 경계를 나타내는 함수비를 말하며, 소성도를 이용한 세립토의 분류와 흙의 공학적 성질 판정에 이용된다. 소성한계 시험은 KS F2304의 규격에 준하여 실시하였다. 직접전단시험(KS F2343)은 상하로 분리된 전단 상자 속에 시료를 넣고 수직하중을 가한 상태로 수평력을 가하여 전단 상자 상하단부의 분리면을 따라 강제로 파괴를 일으켜서 지반의 강도정수를 결정할 수 있는 간편한 시험이다. Fig. 5에서와 같이 수직응력 σ 는 수직하중 P 를 시료의 단면적 A 로 나누어 구하고 전단응력 τ 는 수평력 S 를 시료의 단면적 A 로 나누어 계산하였다. $\sigma = P/A$ 와 $\tau = S/A$ 의 관계에 의해 수직하중을 다른 크기로 3, 4회 변화시키면서 시험하여 각 수직응력에 대한 최대 전단응력의 값을 구하고, Coulomb의 파괴 식으로부터 점착력 c 와 전단 저항각 ϕ 를 결정하였다.

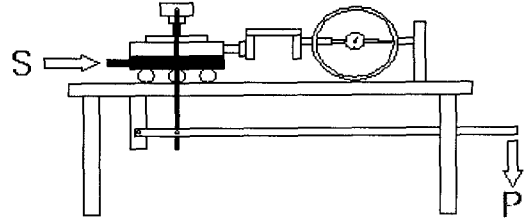


Fig. 5. Direct shear test.

시험 결과 및 고찰

물리적 특성

다짐시험(A다짐)에 의한 다짐시험 곡선은 Fig. 6과 같으며, 시험결과 각 시료의 최적 함수비(O.M.C)는 22.6~24.3%이며, 최대건조중량($\gamma_{d(max)}$)은 1.58~1.66(t/m^3)으로 두 지역의 시료(JS-A, B 및 HS) 모두 비슷한 양상을 보이고 있다 (Table 1).

비중 (G_s)은 두 지역의 시료에서는 2.78~2.80로서 일반적인 점성토에 상응하는 비중 값을 보이며, 이는 국내의 화강암풍화토 비중의 범위인 2.65~2.70 (박병기, 1998)보다는 다소 큰 경향을 보였다. 그러나 전남 화순지역과 고흥 지역의 이암풍화토(이진수 등, 2002)의 비중 범위인 2.77~2.79 와는 다소 비슷한 양상을 보인다.

액성한계(LL)는 약 37~38%이고, 소성지수(PI)는 13.7~15.4로 나타났다 (Table 1, Fig. 7). 이는 대구지역 혈암풍화토(이상복, 1994)와 비슷한 경향을 보이며, 화강암풍화토(문용, 1998)에서는 Fall

Table 1. Physical properties of weathered limestone soils.

sample	G_s	LL (%)	PL (%)	PI	#200 (%)	$\gamma_{d(max)}$ (t/m^3)	OMC (%)	USCS
JS-A	2.79	36.92	22.28	14.64	62.5	1.60	22.6	CL
JS-B	2.80	36.64	20.67	15.37	55.6	1.58	23.0	CL
HS	2.78	37.98	24.22	13.76	66.7	1.58	24.3	CL

Cone Test(정적 액성한계 시험)로 구하거나 값이 나오지 않는 N.P (Non plastic)상태와는 다른 양상을 보인다.

입도분포 특성은 두 지역 석회암풍화토의 경우 #200번체 통과 중량 백분율이 56~67% 정도로 (Table 1, Fig. 8)로 나타났으며, 통일분류법에 의해 두 지역 시료 모두 CL(실트질점토)로 분류되었다. 화강암 풍화토에서는 #200번체 통과 량이 20%이하의 값(문용, 1998; 박병기, 1998)을 가지며 대부분 SW나 SP(입도분포가 양호한 모래나 불량한 모래)로 분류되어, 석회암 풍화토와는 다른 토성의 경향을 보인다.

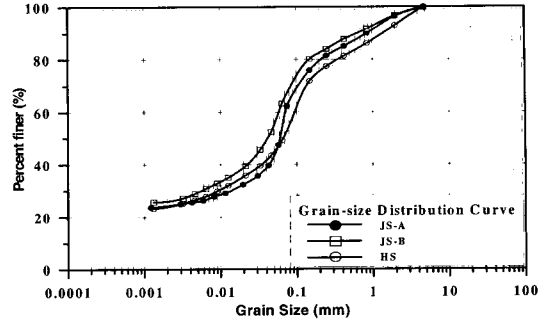


Fig. 8. Particle-size distribution curves

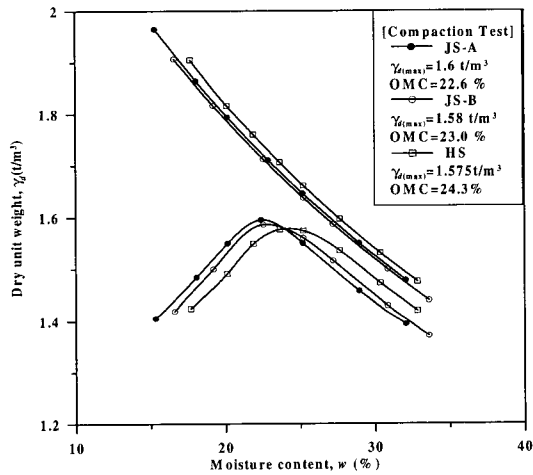


Fig. 6. Compaction curves

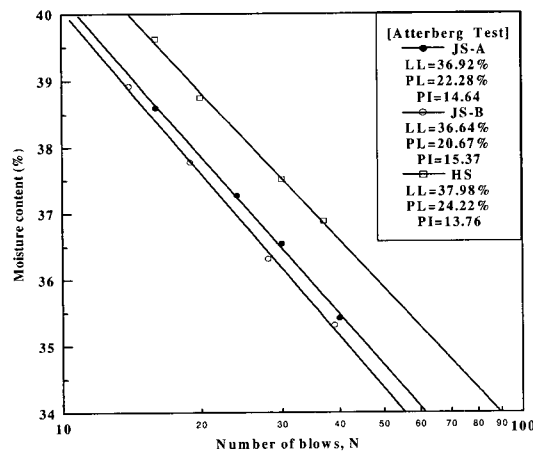


Fig. 7. Liquid limit curves

전단 특성

본 연구에서 직접 전단시험을 통한 전단정수의 결정은 전단강도-전단변위 곡선에서 Peak 강도를 택하여 파괴포락선으로부터 전단정수를 결정하였다. 현장의 조건과 동일한 상태에서의 시험을 위해 전조단위중량이 1.5t/m³ 에서 전단정수를 결정하고 이들의 변화를 비교·분석하였다. 시험을 위한 초기조건을 동일하게 하기 위하여 각각의 시료를 No.4번체(4.75mm)로 걸러 동일하게 조제하고 수직하중을 3.24(t/m²), 6.48(t/m²), 9.72 (t/m²), 2.96(t/m²)의 4단계로 나누어 시험을 실시하였다.

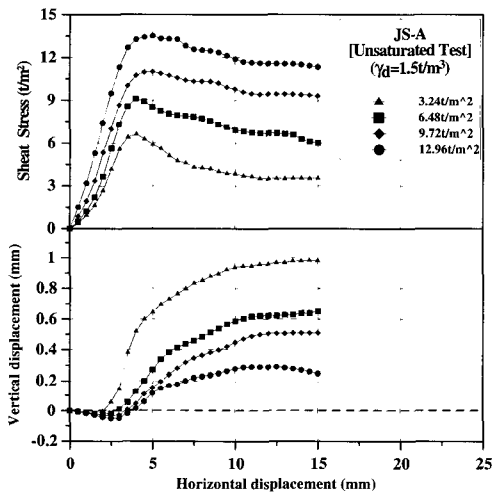
Fig. 9에서부터 Fig. 11은 불포화 시료에 대한 전단시험 결과이며, 각 그림 (a)에서는 수직하중을 4단계로 나누어 시험한 전단강도-전단변형-체적변화를 나타내었고, (b)에는 전단정수를 산출하기 위한 전단응력과 수직응력의 관계를 나타내었다. 시험 결과에 따르면 전체적으로 응력-변형관계는 잔류강도/Peak강도의 비가 작은 경화-연화 현상을 보이며 (Fig. 9, 10, 11, (a)), 이는 광주 풍암지역과 강원도 횡성지역 화강암풍화토(강진태, 1998)의 특징과 유사한 경향을 보였다. 불포화 직접 전단시험에 의한 석회암풍화토의 강도정수인 C 및 ϕ 는 Table 2에 정리하였다. 두 지역 시료에 대한 전단강도 정수들의 특징을 살펴보면 Table 2에서 보는 바와 같이 C(점착력)는 불포화 전단 시 3.07~4.4(t/m²) 의 값을 보이며, ϕ (내부마찰각)는 두 지역의 시료에서 대체적으로 34.8~42.4°의 범위로 (Fig. 9, 10, 11, (b)), 화순지역 시료가 장성지역 시료보다 다소 높게 나타났다. 연구지역 석회암풍화토에 대한 불포화 시 전단

전라남도 장성과 화순에 분포하는 석회암풍화토의 물성 및 전단 특성

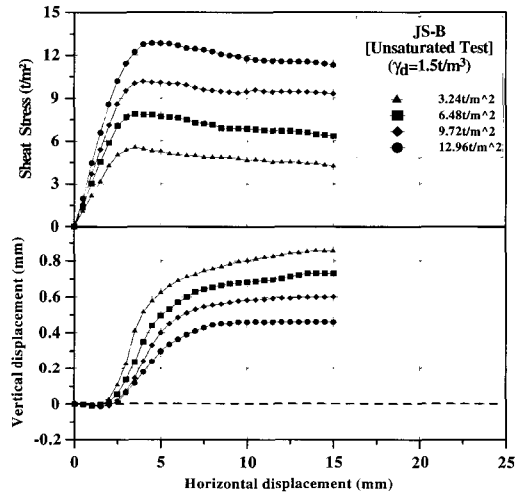
강도정수와 광주 풍암지역, 전북 익산지역, 경기 시흥지역의 화강암풍화토(양재혁, 1997)의 전단특성 ($c=0.5\sim 1.5(t/m^2)$, $\phi=33\sim 38^\circ$)을 비교하면, 점착력은 화강암풍화토 보다 높은 경향을 보이며, 반면에 내부마찰각은 대체적으로 유사한 경향을 보인다.

Table 2. Shear strength of unsaturated soils

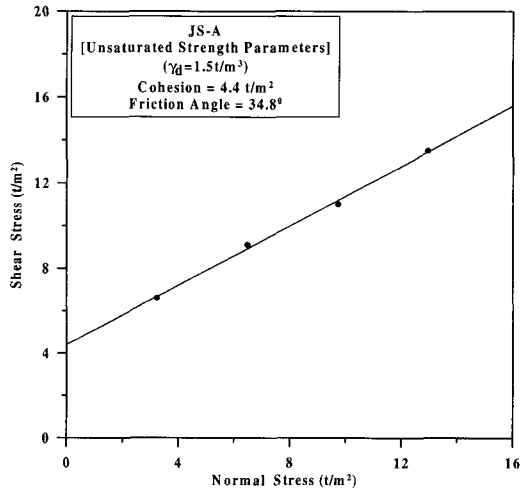
Sample	γ_d (t/m^3)	C (t/m^2)	ϕ ($^\circ$)
JS - A	1.5	4.4	34.8
JS - B	1.5	3.07	36.7
HS	1.5	4.05	42.4



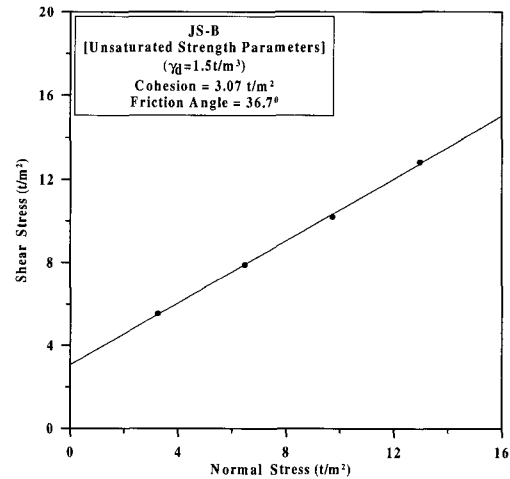
(a) $\tau - \varepsilon_v - Disp.$



(a) $\tau - \varepsilon_v - Disp.$



(b) $\tau - \sigma$



(b) $\tau - \sigma$

Fig. 9. Results of unsaturated shear test at $\gamma_d=1.5 t/m^3$ (JS-A)

Fig. 10. Results of unsaturated shear test at $\gamma_d=1.5 t/m^3$ (JS-B)

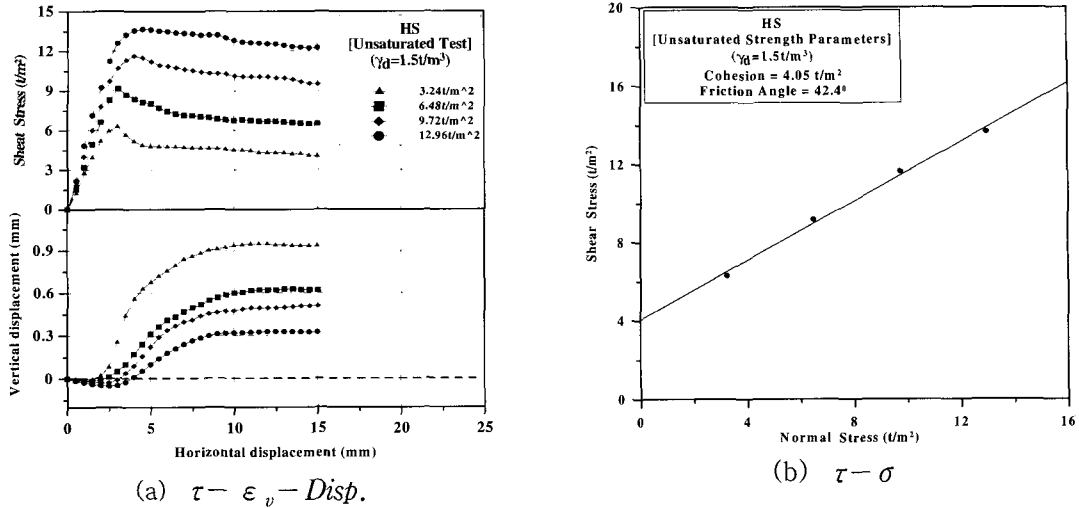


Fig. 11. Results of unsaturated shear test at $\gamma_d = 1.5 \text{ t/m}^3$ (HS)

Dilatancy 특성

전단변형에 따른 체적변형은 대체적으로 압축((-)Dilatancy)되었다가 팽창(+)Dilatancy)되는데, 그 경향이 광주 풍암 지역의 화강암풍화토 (강진태, 1999)에서 수평변위 2mm내에서 압축에서 팽창으로 반전되는 것과는 약간 다르게, 수평 변위량이 2.5mm정도에서 급격하게 변화함을 볼 수 있고 수직 변위량 또한 압축((-)Dilatancy)부에서는 최대 -0.04mm, 팽창(+)Dilatancy)부에서는 최대 +1mm정도로 상당히 크다는 것을 알 수 있다 (Fig. 9, 10, 11, (a)). 직접전단시험에서 수직하중의 증가에 따라 체적의 팽창(+)Dilatancy)정도가 감소함을 보이는데, 이는 수직하중의 증가와 더불어 석회암 풍화토의 파쇄와 interlocking영향이 감소되어 나타나는 현상으로 판단되어 진다.

결론

전라남도 장성과 화순지역에 분포하는 교란상태의 석회암풍화토에 대한 실내시험 (물성, 전단시험)의 결과는 다음과 같다. 장성과 화순지역 석회암풍화토의 비중은 2.78~2.80으로서 일반적인 화강암풍화토 (박병기, 1998)에서의 2.40~2.70에

비해 큰 값을 보인다. #200번체 통과 중량 백분율은 55.6~66.7%, 액성한계 (LL)는 37~38%, 소성한계(PI)는 13.7~15.4 그리고 흙의 분류는 CL에 해당되어 화강암풍화토와는 다른 특성을 보인다. 불포화 시료에 대한 직접전단시험에 의한 강도정수는 점착력(c)이 3.07~4.4 (t/m^2) 그리고 내부마찰각(ϕ)은 34.8~42.4°의 범위를 보인다. 석회암풍화토의 전단강도 정수 중, 점착력은 화강암풍화토와 비교하면 큰 편이며, 내부마찰각은 대체적으로 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 또한, 전단 변형에 따른 체적변형은 수축되었다가 팽창하는 성질이 화강암풍화토와 비슷한 양상을 보이며, 수평변위 2.5mm정도에서 수축에서 팽창으로 급격하게 변하는 양상을 보인다. 이상의 결과로부터 연구지역 석회암풍화토는 화강암풍화토 (양재혁, 1997; 문용, 1998; 박병기, 1998)와 비교하였을 때, 일반적으로 물리적 특성은 상이하나, 전단 특성 중 내부마찰각은 유사한 특징을 보이는 것으로 나타났다. 본 연구는 교란시료에 대한 시험결과이며, 향후 불교란 시료에 대한 전단 특성의 연구뿐만 아니라 국내에 소규모이지만 도처에 산재한 석회암 모암과 석회암풍화토의 광물 및 화학성분 변화에 관한 연구의 필요성이 있다.

참 고 문 헌

강진태, 1999, 화강토의 Dilatancy 특성 연구, 전남대학교 석사학위논문, p. 42-43.
 김기영, 1995, 혈암 풍화토의 전단특성에 관한 연구, 경북대학교 석사학위논문, p. 20-23.
 김봉균, 김중환, 박희인, 윤석규, 이대성, 이하영, 장기홍, 정창희, 1982, 한국의 지질과 광물자원, 대림문화정판사, p. 384-385.
 김봉균, 박병권, 1966, 동북도폭, 국립지질조사소 문 용, 1998, 화강토의 물성과 역학적 성질에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문, p. 21-63.
 박병기, 1998, 한국 화강토의 토질공학적 특성연구, 한국과학재단, p. 10-54.
 박형동, 2001, 석회암의 지질공학적 특성, 2001년 특별세미나 논문집, 한국지반공학회 암반역학위원회, p. 39-52.
 배규진, 2001, 석회암 분포지역에서의 터널 시공 기술, 2001년 특별세미나 논문집, 한국지반공학회 암반역학위원회, p. 55-75.
 신희순, 2001, 석회암의 암반 공학적 특성, 2001년 특별세미나 논문집, 한국지반공학회 암반역학위원회, p. 137-148.
 양재혁, 1997, 화강토의 전단특성 연구, 전남대학교 석사학위논문, p. 20-29.
 이병주, 선우춘, 2001, 국내 석회암의 분포와 지질학적 특성, 2001년 특별세미나 논문집, 한국지반공학회 암반역학위원회, p. 3-14.
 이상복, 1994, 혈암 풍화토의 공학적 특성 연구, 경북대학교 석사학위논문, p. 21-23.
 이영휘, 1996, 포항 이암층의 slaking, 팽창 및 전단강도 특성, 한국지반공학회, 제12권, 제2호, p. 33-42.
 이용주, 1996, 광주지역 화강풍화토의 역학적 특성, 전남대학교 석사학위논문, p. 10-15.
 이진수, 이강일, 김경완, 2002, 이암퇴적토의 slaking에 따른 전단 및 압축특성, 대한토목학회 논문집, 제22권 제4-C호, p. 456-463.
 조인기, 2001, 석회암지역에서의 물리탐사, 한국지반공학회 암반역학위원회, p. 17-36.
 홍승호, 1986, 송정도폭, 한국자원연구소.
 Bates R. L. and Jackson J. A., 1987, Glossary

of Geology, American Geological Institute, 788p.
 Sowers, G. F., 1996, Building on sinkholes, ASCE press, p. 31-37.

투 고 일 2003년 7월 9일
 심 사 일 2003년 7월 10일
 심사완료일 2003년 8월 5일

김혜경(Hai-Gyoung Kim)
 전남대학교 자연과학대학 지구환경과학부
 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300번지
 Tel: 062-530-3450
 Fax: 062-530-3459
 E-mail: khgoh@chollian.net